

新竹市第三十五屆中小學科學展覽會  
作品說明書

科別：化學科

組別：國中組

名次：第一名

作品名稱：來電真好 ~ 磁場對鋅銅電池效能的影響

關鍵詞：磁場、高斯、電壓、電流

編號：：106JA-C007

學校名稱：新竹市三民國中

|                                      |                                |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| 作者：<br>七年級/江嘉紘<br>七年級/周義庭<br>九年級/應嘉妮 | 指導老師：<br>三民國中/ 蘇昭鈴老師、<br>林冠汝老師 |
|--------------------------------------|--------------------------------|

## 摘要

在許多關於鋅銅電池的研究得知，影響電流大小的因素：鹽橋濃度、兩電極的距離，硫酸鋅或硫酸銅的濃度…。而影響電池電壓的因素有電極種類、溶液離子濃度、氣體物種分壓、溫度，與電極粗細、反應式係數無關。

我們試著去探討在鋅銅電池中溶液的理想濃度比，讓電池電壓可以是較大的，找到了 $[\text{CuSO}_4]=1\text{M}$ ， $[\text{ZnSO}_4]=0.2\text{M}$ ， $[\text{KNO}_3]=1\text{M}$ 時的鹽橋鋅銅電池實驗，會因為濃度差而使反應更易進行電壓變大。之後在不同磁場方向的磁場作用下，測量鋅銅電池放電時的電壓、電流，找出規律，發現單獨只有Cu極下方有外加磁場時，整體電壓、電流效果很好。表示 $\text{Cu}^{2+}$ 受到磁化有助於增大電流。外加磁場整體果效評估(含電壓、電流、電流穩定性)：

(X, N↑)、(X, S↑)、(S↑, N↑)、(N↑, S↑)、(S在中間)都是較好條件。

外加磁場對鋅銅電池確實有增大電壓、電流，穩定電壓電流的功效。本實驗所量得的電位還會高達1.108V。是因為，外加磁場造成正離子的受力而開始流動，加速溶液中離子的擴散速率，而使導電能力增加，電流增加。但同時也將實驗中發現的白色不知名的懸浮顆粒，反向思考當作溶液流動觀察的標的物，用來觀察磁場下電池內溶液的流動情形。發現在淺的容器中(培養皿)電池溶液中正離子受磁場作用，會符合開掌定則移動，進而形成順時針或逆時針轉動。而改良式的鋅銅電池在鹽橋改進後，加上磁場作用可使電流更加增大。

過程中更進一步將白色顆粒是甚麼給探究清楚，發現那白色圓形的懸浮微粒，此微粒中間是透明無色的 $\text{Zn}(\text{OH})_2$ ，外圍是白色物質 $\text{ZnO}$ 包圍，就像包心粉圓一樣可愛！

## 壹、研究動機

日前曾在報紙上看到已經有研究將常見的鋁空氣電池電壓變得跟鋰電池電壓一樣高而且可以充電可以彎，令人大感神奇，也引發了我們好奇心；加上能源問題日益嚴重，所以我們想從課內的鋅銅電池實驗開始剖析、研究，看可否找到其他方法將電池的效能增加，未來更可擴及其他電池的深入研究。

## 貳、研究目的

- 一、文獻探討
- 二、探討不同溶液濃度對鋅銅電池放電時電壓的影響？
- 三、探討不同磁場方向作用下，對鋅銅電池放電時的電壓、電流的影響
- 四、探討鹽橋中白色膠態顆粒的產生及流動的原因
- 五、探討不同磁場方向、強度作用下，改良式 I 鋅銅電池內部溶液流動的現象
- 六、探討不同磁場強度作用下，改良式鋅銅電池放電時的電壓、電流的影響

## 參、研究設備及器材

硫酸銅、硫酸鋅、硝酸鉀、量瓶(500ml、1000ml)、燒杯(100ml、250ml、500ml、1000ml)、100ml 量筒、滴管、玻璃棒、U 形管、培養皿、澱粉、載玻片、鑽石刀、鱷魚夾電線、強力磁鐵、電子天平(SKY-150)、三用電表(ADM-D03)、高斯計(SYPRIS Model 5170 Gauss/Tesla meter)、

## 肆、研究過程

### 一、文獻探討

(一)在歷屆科展中，已經有許多關於鋅銅電池的詳盡研究，我們在歷屆科展的資料得知，要得到較大電流需鹽橋濃度大、兩個電極要接近，另外硫酸鋅或硫酸銅濃度也要大。但在進行課內的鋅銅電池實驗時，常在反應時發現鋅片有灰黑色物質附著，且鹽橋中時有白色物質生成，可是這些現象課本討論都沒有提，我們決定先用學校既有的器材和文獻中的所查的資料，去做實驗，再由原理去討論、去試驗，看磁場可否能增大電流、電壓。

(二)從電化學原理去探討鋅銅電池：

- 1、化學電池：一種將化學能轉換為電能的裝置。電池的組成是由電極、電解液、鹽橋及導線所構成。
  - (1)電解液：含有相關離子之電解質水溶液。
  - (2)鹽橋：為電池內兩電解液之橋樑，但有時以多孔性材料代替。內裝鹽類水溶液（通常為硝酸鹽或氯化物），用以溝通電路、維持溶液電中性。
  - (3)電極：陽極—發生氧化反應，釋放電子，也稱為負極。  
陰極—發生還原反應，吸收電子，也稱為正極。

電子流由陽極流向陰極；而電流由陰極流向陽極。

(4) 電極種類：電池電極依參予反應與否，分為活性電極與惰性電極。

活性電極：在電池的反應中，電極參加了變化，如鋅銅電池中的鋅棒及銅棒

惰性電極：反應時電子可經由電極出入，但電極不參予反應。

通常為碳棒電極、鉑電極或金電極

2、電位：粒子得失電子的相對能力大小稱為電位。

(1) 氧化電位：(a) 失去電子的相對能力大小。

(b) 本身易氧化者，還原力大，具有較大之氧化電位。

(2) 還原電位：(a) 得到電子的相對能力大小。

(b) 本身易還原者，氧化力大，具有較大之還原電位。

搶奪電子後所形成之產物不易失去電子。

3、電位的測定

(1) 標準狀態：因電位隨電極種類、電解質、溫度、濃度與壓力而改變，故化學上規定在下列條件下測得的電位為標準電位，此狀態稱為標準狀態。

(i) 氣體之標準狀態為 1 atm, 25 ° C。

(ii) 離子之標準狀態為 1 M, 25 ° C。

(iii) 固體之標準狀態為 25 ° C 時的最穩定狀態。

(2) 參考電極：電位為一粒子得失電子的相對能力大小，無法直接測量，故須選擇一特定的電極，以此為基準，來測定其他電極的電位，這個特定的電極稱參考電極。

(3) 氫參考電極：目前所使用的參考電極為氫標準電極，為一浸在 1.0 M 酸性溶液的白金絲，測定過程中不斷將氫氣通入電極附近，並使氫氣壓力維持一大氣壓，這個半電池稱為氫標準電極，

其半反應為： $2 \text{H}^+_{(\text{aq}, 1 \text{M})} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_{2(\text{g}, 1 \text{atm})}$   $E^\circ = 0.00$  伏特

(4) 電位的特性：

(i) 半反應方程式兩端同時乘以 n 時，E 值不變。

(ii) 方程式逆寫，電位等值異號。

(iii) 方程式相加，電位值相加；方程式相減，電位值相減。

(iv) 影響電池電壓的因素有電極種類、溶液離子濃度、氣體物種分壓、溫度。與電極粗細、反應式係數無關。

4、電化電池的電動勢：電極電位 (electrode potential)

(1) 電化電池表示法： $M_1 | A || B | M_2$  ∴ 鋅銅電池： $\text{Zn} | \text{Zn}^{2+} || \text{Cu}^{2+} | \text{Cu}$

$M_1$  與  $M_2$  表示電池中伏特計兩端連接的電極， $M_1$  為陽極， $M_2$  為陰極。

A、B 代表半電池中的電解質溶液，以「||」表示鹽橋。

(2) 電化電池的電動勢：

(i) 預測氧化還原反應是否自然發生：

全反應  $E^\circ > 0$ ，反應自然發生

全反應  $E^\circ < 0$ ，反應不能自然發生

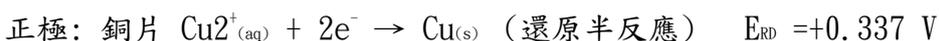
(ii) 預測電化電池的電動勢 (電池電壓)

電池電動勢 ( $E^\circ$ ) =  $E^\circ$  (陽極氧化電位) +  $E^\circ$  (陰極還原電位)

### 5、鋅銅電池運作原理：

負極的鋅片(Zn)會失去電子而形鋅子( $Zn^{2+}$ )，溶解在裝有  $ZnSO_4$  溶液的燒杯中，同時電子( $e^-$ )會沿電線移動至正極的銅片形成電子流，另一裝有硫酸銅溶液 ( $CuSO_4$ )中的銅子( $Cu^{2+}$ )得到電子還原成銅，附著在銅片上；鹽橋中的陰離子會移向負極(鋅片)，而陽離子則會移向正極，用以溝電路並維持溶液的電中性，常以易解的鹽類溶液當作鹽橋。

電池反應會一直持續至反應達平衡，鋅銅電池的放電反應如下：



### 二、探討不同溶液濃度對鋅銅電池放電時電壓的影響

操作步驟：

(1)配製不同濃度的硫酸銅(1M、0.8、0.6、0.4、0.2M)，與  $ZnSO_4$ (1M、0.8、0.6、0.4、0.2M)，裝置電池使其放電，分別測量其放電時的電壓、電流平均值。(每1分鐘各量取數據一次，取10分鐘內的平均值)，紀錄於(表2-1)中

(2)控制變因： $[KNO_3]=1M$ ，電極接觸面積= $3 \times 5cm^2$ ，電極的距離= $7cm$ ，反應溫度： $22^\circ C$

### 三、探討不同磁場方向作用下，鹽橋式鋅銅電池放電時的電壓、電流的影響

操作步驟：

(1)配製濃度為1M的硫酸銅溶液，與0.2M的  $ZnSO_4$  溶液及1M的  $KNO_3$  溶液，並於反應前後秤取鋅片、銅片的重量，裝置鋅銅電池，分別在兩極燒杯下，放置磁場強度= $600G$ 的磁鐵，測量其放電時的電壓、電流。每30秒各量取數據一次，紀錄反應時間60分鐘內的數據，並做三次求平均紀錄之

(2)控制變因：

\*鹽橋  $[KNO_3]=1M$ ，電極接觸面積= $3 \times 5cm^2$ ，電極的距離= $7cm$ ，反應溫度： $22^\circ C$

\*電池濃度、體積： $[ZnSO_4]=0.2M$ ，100ml，pH=6； $[CuSO_4]=1M$ ，100ml，pH=2

(3)本實驗共安排有11個磁場方向，放置在兩個燒杯下方，如下，編號(1)~(11)

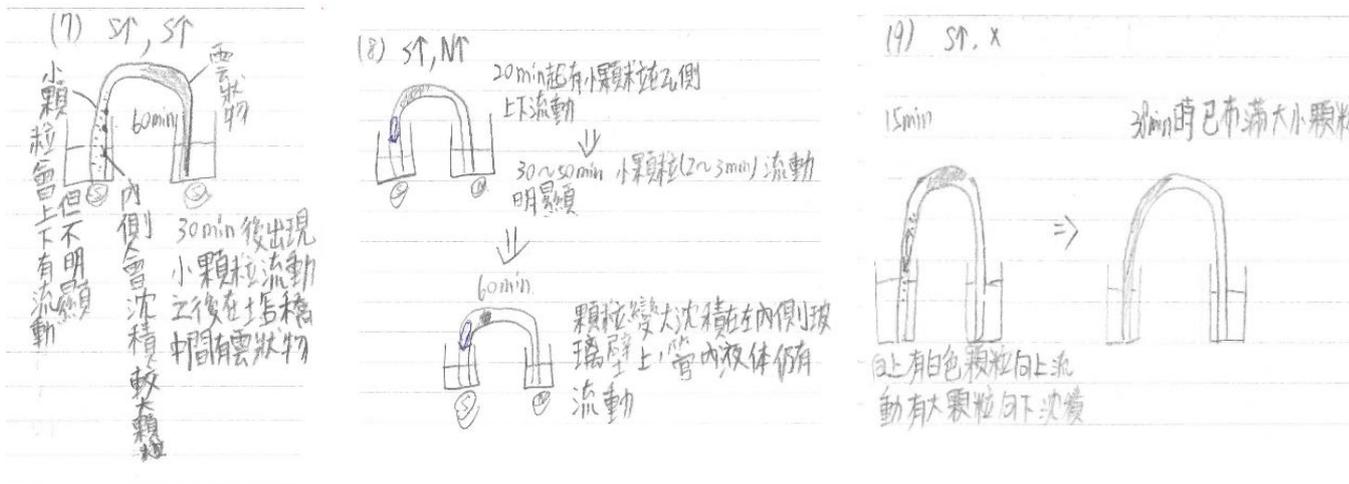
—「N↑」：表示N極朝上，「S↑」：表示S極朝上，「X」：表示無磁場，

|     | 負極(Zn)         | 正極(Cu) |      | 負極(Zn)         | 正極(Cu) |
|-----|----------------|--------|------|----------------|--------|
| (1) | 無磁場 X          | 無磁場 X  | (7)  | S ↑            | S ↑    |
| (2) | N ↑            | X      | (8)  | S ↑            | N ↑    |
| (3) | N ↑            | N ↑    | (9)  | S ↑ (在兩燒杯下方中間) |        |
| (4) | N ↑            | S ↑    | (10) | X              | N ↑    |
| (5) | N ↑ (在兩燒杯下方中間) |        | (11) | X              | S ↑    |
| (6) | S ↑            | X      |      |                |        |

#### 四、探討鹽橋中白色膠態顆粒的產生及流動的原因

實驗步驟：

- 1、藉由錄影方式，觀察外加磁場後，白色系懸浮顆粒形成的定性觀察並紀錄。
- 2、輔以硝酸鉀+硫酸鋅做測試、鋅片上灰黑色物質刮下+滴加濃硫酸觀察其反應…。
- 3、手繪圖：在鹽橋上觀察到的現象：靠近負極(Zn片)這端的鹽橋內常會有白色細懸浮顆粒出現，且出現上下流動現象。如下圖列：



#### 五、探討不同磁場方向、強度作用下，改良式 I 鋅銅電池內部溶液流動的現象。

實驗步驟：

- 1、根據前面實驗，控制變因如下：

鹽橋溶液  $[KNO_3]=1M$ ，電極的距離=7cm，反應溫度： $22^{\circ}C$

\*電池濃度、體積： $[ZnSO_4]=0.2M$ ，20ml； $[CuSO_4]=1M$ 、20ml

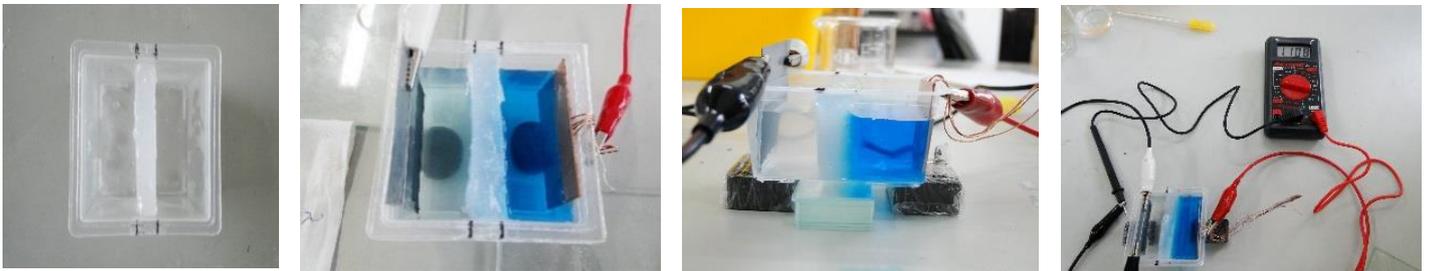
- 2、電極接觸面積=1.5x5cm<sup>2</sup>，電池溶液體積~ZnSO<sub>4</sub>:20ml；CuSO<sub>4</sub>:20ml
- 3、鹽橋膠配製：將 12g 澱粉/100ml KNO<sub>3</sub> 溶液，按比例混和攪拌，並加熱至糊化，即可火，約加熱 3~5 分鐘。用塑膠隔板固定於培養皿中，將配好的鹽橋膠倒入，放在冰箱使其冷卻凝固。
- 4、改用培養皿當作電池容器，中間用鹽橋膠隔開硫酸鋅與硫酸銅溶液，配置鋅銅電極片及電線、三用電表等裝置。於燒杯下放置所需的磁場強度的磁鐵，開始測量並觀察溶液情形。
- 5、由實驗二數據，因為想看看外加磁場時，電池放電溶液流動的情形，所以磁場我們只固定在(S↑, N↑)、(N↑, S↑)兩組，然後改變磁場強度(無磁場、600G、1000G、2000G)，觀察磁場對溶液的影響情況。
- 6、因會有白色懸浮微粒產生，故以此當作觀察指示標的物，可再放些木屑更便於觀察溶液流動情形。

## 六、不同磁場強度作用下，改良式II 鋅銅電池放電時的電壓、電流的影響

### 實驗步驟：

#### (一)製作改良式II 電池容器的鹽橋膠：

- 1、從日常生活食品的塑膠容器中，選用 6.5x6.5cm 的正方形盒子，深度 3cm，將中間要置入硝酸鉀澱粉膠體的位置先刻劃，取用  $1 \times 6.5 \times 3 \text{cm}^3$  的體積。
- 2、利用載玻片當隔間模具，先切割出適當大小的玻片，包以保鮮膜(以方便取膜)至於盒子中間當作隔間模具。
- 3、將 12g 的澱粉加入 100ml、1M 的硝酸鉀溶液中，加熱並攪拌，約 3~5 分鐘澱粉糊化即可，勿過度攪拌避免氣泡產生，趁溫度未降太低，黏度小流動性大，倒入隔間模具中，並加以調整對齊刻劃的位置。放入冰箱冷凍室中，待其冷卻定型，約 30 分鐘後成型再將玻片取下，待鹽橋膠恢復至室溫。整個容器可包以保鮮膜備用，避免鹽橋膠乾掉，要實驗時再加入兩邊的溶液。如下圖所示裝置：



#### (二)電池放電時電壓、電流的測量：

- 1、將鋅片銅片稱重紀錄，分別將鋅、銅電極固定並連接導線與三用電表，於電極下方放置所需磁場的磁鐵，再分別倒入硫酸鋅、硫酸銅溶液於鹽橋膠的兩側，開始測量電壓、電流，每分鐘記錄一次數據，並觀察溶液的變化。
- 2、反應後將鋅片銅片再稱重一次並紀錄之。
- 3、根據實驗二所得結果，濃度控制及其他控制變因條件如下：
  - \*電池濃度、體積： $[\text{ZnSO}_4] = 0.2\text{M}$ ，25ml； $[\text{CuSO}_4] = 1\text{M}$ ，25ml； $[\text{KNO}_3] = 1\text{M}$
  - \*反應時間：30 mins，每 1 分鐘記錄一次電壓、電流，
  - \*兩電極片距離 = 7 cm、兩電極片的面積 =  $3 \times 5 \text{cm}^2$ 、反應溫度 =  $22^\circ \text{C}$
- 4、延續實驗三和實驗五，採用整體外加磁場，電壓、電流效果好的磁場方向~(S↑, N↑)、(N↑, S↑)，並期待可看到溶液的流動現象。
- 5、在固定磁場方向上，改變磁場強度(100G、400G、600G、800G、1000G、1200G)，測量鋅銅電池放電時的電壓、電流大小。並記錄於(表 6-1、6-2、6-3)中。

## 伍、結果與討論

### 一、文獻探討：

影響電池電壓的因素有電極種類、溶液離子濃度、氣體物種分壓、溫度，與電極粗細、反應式係數無關。對於如何使電壓變大的資料較少，主要取決於反應物種及其反應時的條件，所以在其他控制變因條件下，想先找出何種濃度條件可使放電時電壓較大。

根據化學反應式， $Zn_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightarrow Cu_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)}$  標準電位  $\Delta E^\circ = 1.1V$

利用能斯特方程式(Nernst equation)，將反應中鋅、銅離子代入

$$E = E^\circ - \frac{0.0592}{2} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Cu^{2+}]}$$

理論上，當 $[Cu^{2+}]$ 愈大而 $[Zn^{2+}]$ 愈小時，電壓理論值應會最好。

例如：當 $[CuSO_4]=1.0M$ ， $[ZnSO_4]=0.1M$  代入，得 $E = 1.1 - \frac{0.0592}{2} \log \frac{0.1}{1.0} = 1.1 + 0.03 = 1.13 V$

### 二、實驗目的二，測量結果如下(表 2-1)：

| [CuSO <sub>4</sub> ]<br>[ZnSO <sub>4</sub> ] | 平均電壓<br>平均電流 | 0.1M  | 0.2M  | 0.4M  | 0.6M  | 0.8M  | 1.0M  |
|--|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.1M   | 電壓(V)        | 1.046 | 1.047 | 1.055 | 1.056 | 1.061 | 1.085 |
|  | 電流(mA)       | 2.18  | 2.4   | 2.4   | 2.6   | 2.7   | 2.87  |
| 0.2M   | 電壓(V)        | 1.044 | 1.046 | 1.054 | 1.057 | 1.073 | 1.089 |
|  | 電流(mA)       | 2.31  | 2.53  | 2.61  | 2.69  | 2.75  | 2.88  |
| 0.4M   | 電壓(V)        | 1.044 | 1.045 | 1.049 | 1.053 | 1.069 | 1.087 |
|  | 電流(mA)       | 2.36  | 2.44  | 2.65  | 2.67  | 2.80  | 2.89  |
| 0.6M   | 電壓(V)        | 1.043 | 1.043 | 1.049 | 1.051 | 1.064 | 1.084 |
|  | 電流(mA)       | 2.61  | 2.63  | 2.70  | 2.76  | 2.83  | 2.9   |
| 0.8M   | 電壓(V)        | 1.043 | 1.044 | 1.046 | 1.050 | 1.060 | 1.065 |
|  | 電流(mA)       | 2.66  | 2.69  | 2.72  | 2.74  | 2.88  | 3.0   |
| 1.0M   | 電壓(V)        | 1.042 | 1.043 | 1.046 | 1.050 | 1.057 | 1.063 |
|  | 電流(mA)       | 2.78  | 2.72  | 2.78  | 2.8   | 2.92  | 3.0   |

### 討論：

1、由上表實驗數據得知，硫酸銅濃度固定，硫酸鋅的濃度愈大電流愈大，但電壓愈小；

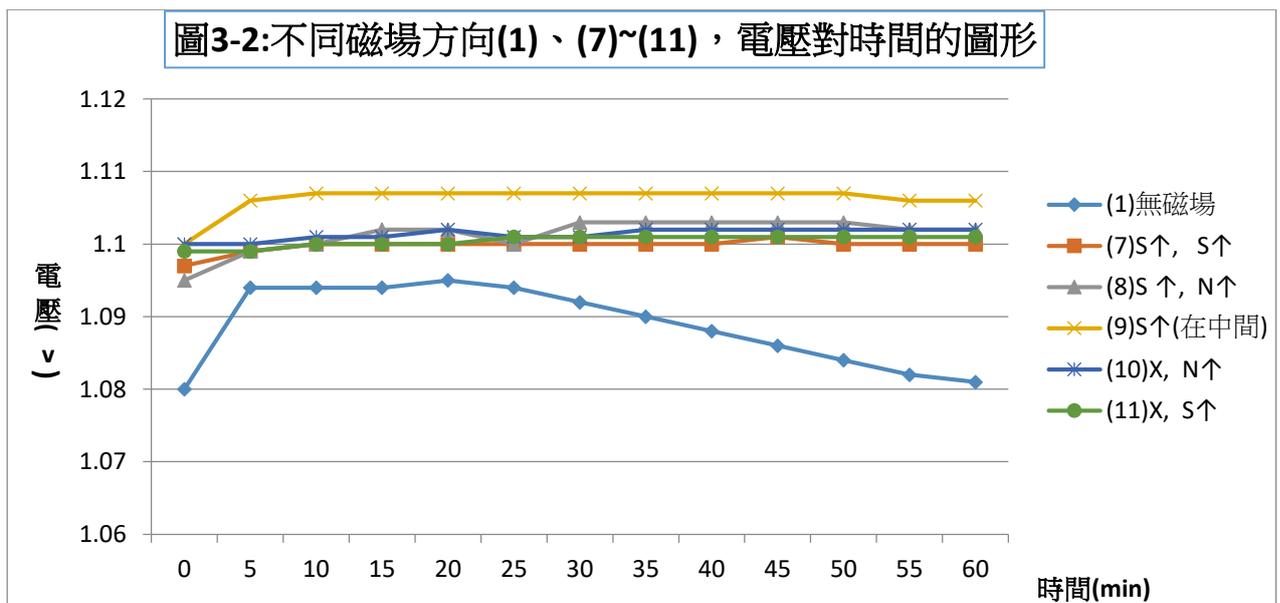
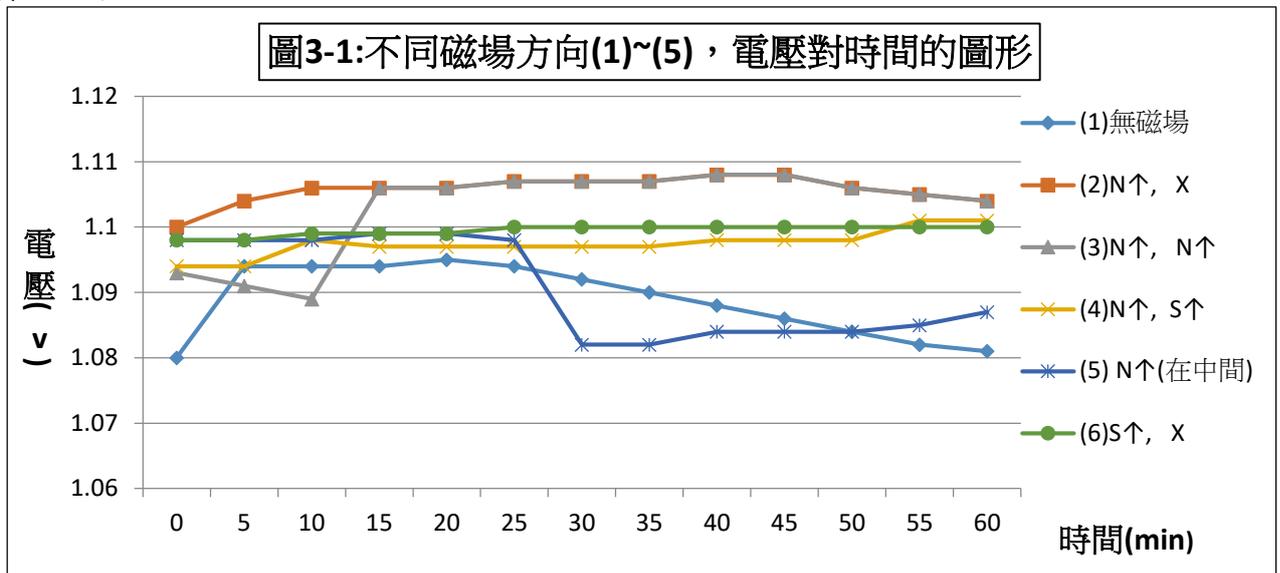
硫酸鋅濃度固定，硫酸銅的濃度愈大電流愈大，但電壓愈大；當硫酸銅濃度較大且硫酸鋅濃度較小時電壓會較大。

2、根據負極反應  $Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ ，當 $[Zn^{2+}]$ 濃度較低時，根據勒沙特列原理，反應進行向右更容易， $E_{ox}$  氧化電位較大，且在鋅電極也應鋅離子濃度較低，較不易有灰色物質產生而影響電壓；而正極反應為： $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$ ，當銅離子濃度增加時，反應也容易向右，也使  $E_{rd}$  還原電位變大，致使  $\Delta E = E_{rd} + E_{ox}$  較大，而接近標準電壓。

3、結論:由表(一)知，硫酸銅濃度要大且硫酸鋅的濃度要小，較易形成較大的電池電壓。由表數據，我們決定以電壓電流整體狀況最佳的條件~硫酸鋅的濃度=0.2M，硫酸銅濃度=1.0M，當作我們接下來做實驗的濃度，雖然此濃度條件並非電流最好，但電壓最高，所以我們想在此條件下調整磁場變因、鹽橋變因…，進一步改善增大電流。

4、雖然由能斯特方程式(Nernst equation)算出，當 $[CuSO_4]=1.0M$ ， $[ZnSO_4]=0.2M$ 代入，可得電壓理論值 $E = 1.1 - \frac{0.0592}{2} \log \frac{0.2}{1.0} = 1.1 + 0.021 = 1.121V$ ，但實際上最大的電壓只有1.085V，這應該跟鋅片在反應時，產生了灰色物質，或進行了其他反應，導致電壓未能達1.121V。

三、實驗目的三：探討不同磁場方向作用下，對鋅銅電池放電時的電壓、電流的影響  
實驗結果：



討論：

1、不同磁場方向作用下，電池放電時的電壓對時間的變化圖形如下圖 3-1、圖 3-2。

由圖中可比較得知，當有外加磁場於電極下方時，很明顯的，電池的初始電壓都很高且電壓較穩定。磁場作用於鋅銅電池有提高電壓、穩定電壓的效能。

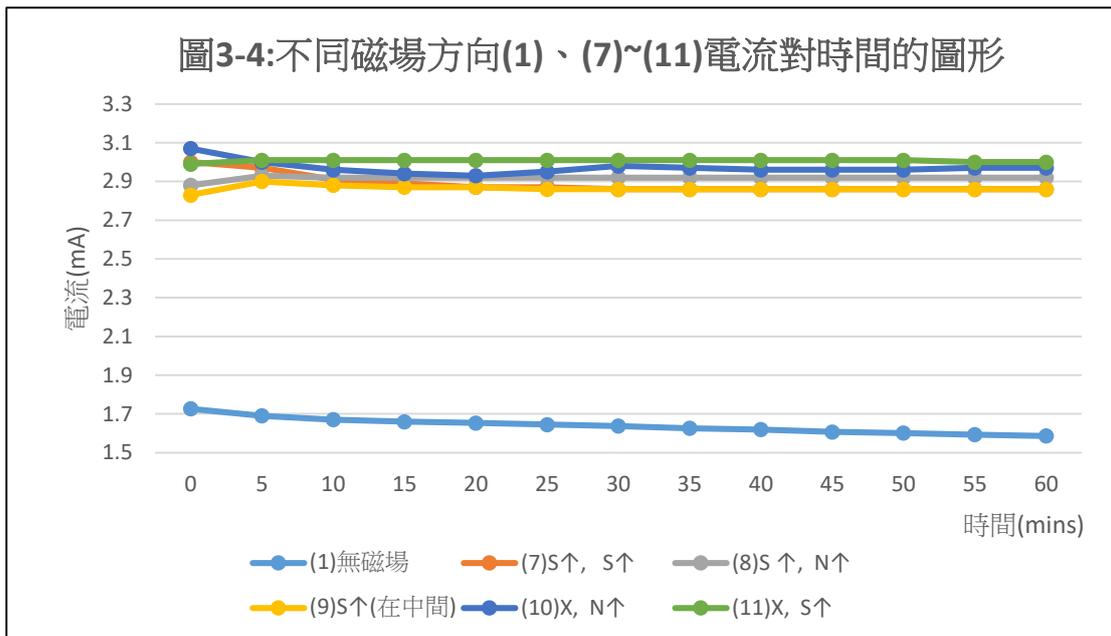
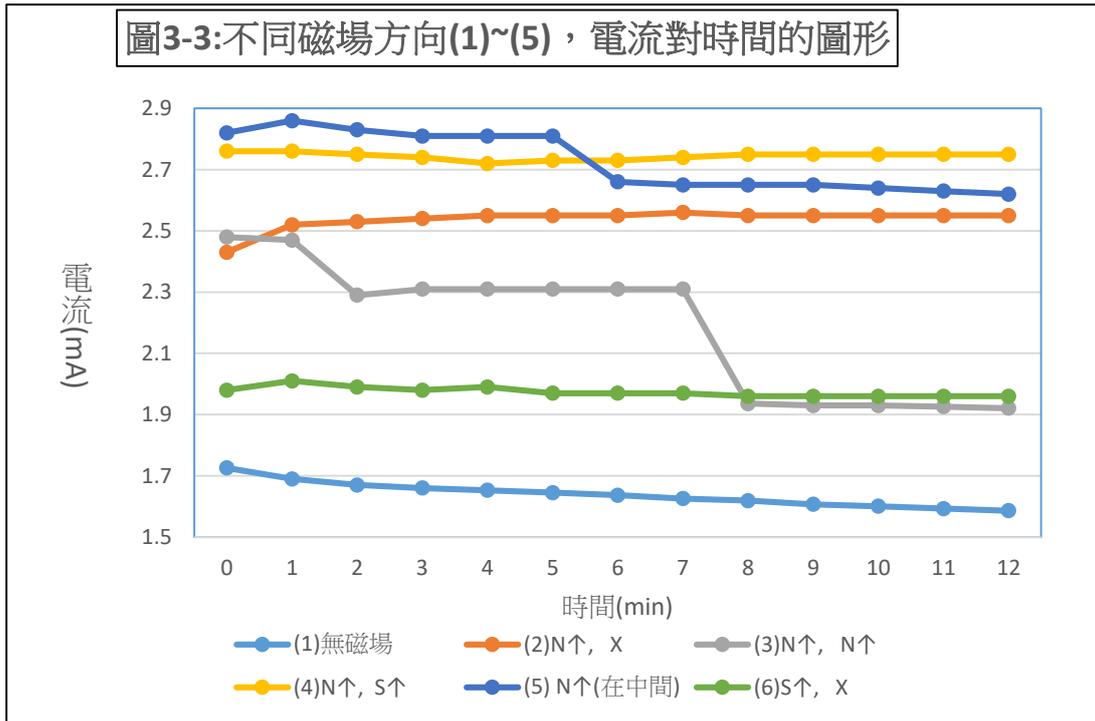
2、就穩定電壓效能而言： $S$ (在中間)、 $(N, X) >$ 其他磁場方向。

3、由圖 3-3、圖 3-4 可知，外加磁場確實明顯可以提高電流大小，

就提高電流、穩定電流效能方面：

$11(X, S) > 10(X, N) > 8(S, N) > 7(S, S) > 9(S$  在中間) $> 4(N, S) > 5N$ (在中間) $> 2(N, X)$

4、在負極放磁場  $S$  極向上，效果比放  $N$  極好；正極均可且一定要有磁場。



(表三)

| 磁場位置<br>(負極、中間、正極<br>下方的磁場) | 初始電壓、<br>變化範圍        | 穩定電壓<br>電壓降低明顯否?   | 初始電流、<br>變化範圍               | 穩定電流<br>電流降低明顯否?   | 附註說明   |
|-----------------------------|----------------------|--|-----------------------------|--|--|
| (1) 無外加磁場                   | 1.011<br>1.094~1.084 | 前30分鐘,電壓較穩定=1.094V,之後每5分鐘穩定降低  | 1.726<br>1.726~1.588        | 一直降低<br>無穩定電流  |  |
| (2) N↑, X                   | 1.100<br>1.100~1.108 | 一開始就達標準電壓,前47分鐘電壓緩慢增加,之後漸減   | 2.43<br>2.43~2.56           | 17分鐘以後電流穩定在2.55  | 鹽橋中有白色膠狀顆粒在流動,特別的是:有上下流動轉圈的情形  |
| (3) N↑, N↑                  | 1.093<br>1.096~1.081 | 6.5分鐘達最高值,1.096V,10~38分鐘,電壓在1.080~1.087V之間,39分鐘之後由1.087緩慢降低達1.081V(變化不大) | 2.48<br>2.48~1.92           | 在前10分鐘,I漸減,從10~38分鐘,電流2.3左右,39分鐘之後又再度逐漸降低。(此時電流變化明顯)<br>正極加了N,似乎減弱了負極N的果效<br>電壓減小、電流減小 | 44:30min時,觀察到硫酸鋅溶液呈現混濁,53min左右,看到白色膠狀物,在鋅極端,左端鹽橋中膠狀物由下往上到U型管上端,有白色膠狀顆粒在流動,也有上下流動轉圈的情形          |
| (4) N↑, S↑                  | 1.094<br>1.094~1.101 | 初始電壓1.094後,並無降低,而是穩定、階段性的增加。最終1.101V高於標準電位。                              | 2.76<br>2.72~2.76           | 電流開始最大之後呈現區段性的降低與升高<br>正極加了S,似乎增加了負極N的果效<br>電壓穩定持平、電流穩定持平                              | 8分鐘時:電壓增高、電流降低<br>37.5分鐘時,電壓增高電流亦增加且穩定至60min   |
| (5) N↑                      | 1.098                | 1.098, 1.099~1.082<br>前30分鐘有穩定電壓1.099~1.098                              | 2.82<br>2.89~2.62           | 無穩定電流  | 30分鐘後從1.098忽降為最低1.082,之後又增加至1.087,電流呈現緩慢降低至2.62  |
| (6) S↑, X                   | 1.098<br>1.098~1.1   | 有穩定電壓<br>在整個放電過程中,電池電壓都穩定在1.1~1.098V之間                                   | 1.98<br>1.96~2.01           | 有穩定電流<br>電流雖有漸減趨勢,但仍在2.0~1.96A。此狀況下的電池放電穩定。  | 0~10分鐘電流達最大,之後穩定緩慢下降<br>10~13分鐘, I= 1.99、13~22分鐘, I= 1.98<br>22~38分鐘, I= 1.97、38~60分鐘, I= 1.96 |
| (7) S↑, S↑                  | 1.097<br>1.1~1.097   | 10分鐘後電壓即達1.1V有穩定電壓   | 3.00<br>3.01~2.86           | 電流呈現穩定降低,在27分鐘後即穩在2.86   | 鹽橋左邊有白色膠狀顆粒在流動,特別的是:有上下流動轉圈的情形,顆粒較小  |
| (8) S↑, N↑                  | 1.095<br>1.095~1.103 | 有穩定電壓,<br>10分鐘電壓都高於1.1V  | 2.88<br>從初始電流開始很快<br>即有穩定電流 | 有穩定電流2.92,<br>0.5分鐘後即呈穩定電流:2.92~2.93   | 鹽橋左邊有白色膠狀顆粒在流動,特別的是:有上下流動轉圈的情形,顆粒較大  |
| (9) S↑                      | 1.1<br>1.1~1.097     | 有穩定電壓,<br>電壓都高於1.1V<br>幾乎無降低   | 2.83<br>2.83~2.90           | 0~10分電流在2.90~2.98<br>10~20分電流在2.97<br>20分後有穩定電流2.86                                    | 只有中間有白色膠態顆粒,不多   |
| (10) X, N↑                  | 1.1<br>1.1~1.102     | 有高的初始電壓,且電壓穩定,1.1以上  | 3.07<br>3.07~2.96           | 有穩定電流2.97<br>36分後穩定在2.96   | N極對Cu <sup>2+</sup> 的影響為何?似乎很明顯  |
| (11) X, S↑                  | 1.099<br>1.1~1.102   | 有高的初始電壓,且電壓穩定,10分後都在1.1以上  | 2.99<br>2.99~3.01           | 很快有穩定電流在3  | S極也可以  |

5、將實驗數據整理，以上表列方式加以討論說明：上(表三)

(1)外加磁場，可以明顯增大初始電壓、電流，電壓甚至高達 1.1V 或更高，且可穩定放電時的電壓、電流。

(2)觀察得知，當 Zn 極下方有外加磁場時，都會在鹽橋中左側處，產生白色膠態顆粒，並有上下循環流動現象。表示  $Zn^{2+}$  受到磁化後，反應性會改變。以至於產生白色膠態懸浮微粒的流動。可進一步探討此膠態物質形成的原因。

(3)單獨只有 Cu 極下方有外加磁場時，整體電壓、電流效果很好。表示  $Cu^{2+}$  受到磁化有助於增大電流。

(4)當正負極下方均同時放置磁鐵，若同極向上，則因磁力相斥，磁力線向外分佈，造成電極附近的磁場效果變弱，電壓、電流整體增加效果就不會是最好的。

(5)外加磁場整體果效評估(含電壓、電流、電流穩定性):

(X, N↑)、(X, S↑)、(S↑, N↑)、(N↑, S↑)、(S 在中間)較好

6、在不同外加磁場方向上，磁場對鋅銅電池的作用確實對電流有影響，但受限於小電流，效果有限，而鹽橋為最大的影響因素，因此，我們決定改用鹽橋膠製作改良式鋅銅電池並外加磁場，做進一步討論。

四、實驗目的四~探討鹽橋中白色膠態顆粒的產生及流動的原因

實驗觀察結果：



(圖 4-1) (N↑, X)



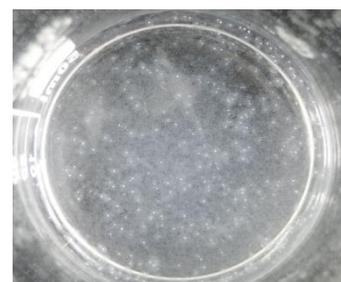
(圖 4-2) (N↑, S↑)



(圖 4-3) (S↑, N↑)

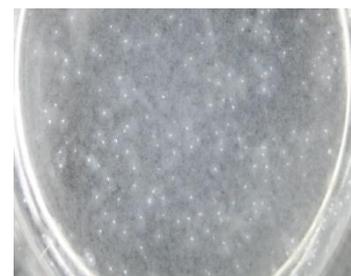
討論：

1. 實驗進行的過程中(如影片所示)，我們觀察到鹽橋以中間開始，有白色的雲霧狀物質出現，當電池持續放電，此白色物質會漸漸靠近 Zn 極的一端流動。有趣的是，此一現象也發生在課本鋅銅電池的實驗中，但課本與文獻皆無說明此物質的成分為何？故我們進行大量資料的研究，並運用國中所學的知識，推測此物質可能為何。



上圖:圖 4-4, 下圖:圖 4-5

2. 首先，我們依照本實驗鹽橋與 Zn 極電解液的成分，分別取 10mL 硝酸鉀(1M)與 10mL 硫酸鋅(0.2M)置於燒杯中，我們發現當兩溶液相混合時，開始產生白色的雲霧狀物質。有趣的是：靜置幾分鐘後，我們可用肉眼觀察到溶液中，有白色圓形的懸浮微粒(如右圖 4-4、4-5 所示)，此微粒中間透明無色，外圍有白色物質包圍，就像包心粉圓一樣！



3. 我們依照自然所學的電解質與氧化還原的概念，跟老師討論進行了以下的推論：  
鹽橋中的硝酸鉀溶於水後會解離出  $K^+$  與  $NO_3^-$  離子，Zn 極電解液硫酸鋅會解離出  $Zn^{2+}$  與  $SO_4^{2-}$  離子，故當兩者混合時， $Zn^{2+}$  會漸漸擴散到鹽橋與硝酸鉀解離出的  $NO_3^-$  離子結合生成  $Zn(NO_3)_2$  水合物，硝酸鋅水合物為一種無色物質（此為白色圓形懸浮微粒中間透明部分的物質）。此外，當鋅銅電池開始放電時，Zn 極開始進行氧化反應生成  $Zn^{2+}$ 。此時，整個 Zn 極電解液中  $Zn^{2+}$  濃度上升， $Zn^{2+}$  會更快速地擴散到鹽橋，並同時與水溶液中的  $OH^-$  離子結合成  $Zn(OH)_2$ ，氫氧化鋅為不易溶於水的白色固體（此為白色圓形懸浮微粒外圍白色部分的物質）。最後，這些在鹽橋中的白色圓形懸浮微粒，如同影片所看到的，因重力的關係會聚集在鹽橋的底端流動。

4. 由於在實驗過程中，我們發現大概放電 5 分鐘左右，Zn 極上會生成薄薄一層的灰黑色物質。我們猜測或許這些白色圓形懸浮微粒與 Zn 極上觀察到的灰黑色物質有關，於是上網查了相關文獻後發現：實驗室中通常會用鋅棒作為陽極，以電解碳酸氫鈉水溶液的方式，來合成氧化鋅白色粉末，反應式如下：



由此可知  $Zn(OH)_2$  為生成 ZnO 的中間物，因此我們大膽推測：由於本實驗並無在密閉空間下進行，因此我們看到的白色圓形懸浮微粒  $Zn(OH)_2$ ，可能會與空氣中的氧氣反應生成 ZnO。當 ZnO 不規則的附在鋅片上，因光線反射的關係，我們肉眼觀察到的不是 Zn 極光滑的銀灰色表面，而是灰黑色的表面。

5. 承上，我們為了證明空氣中的氧氣，會影響 Zn 極的灰黑色物質生成，我們將實驗裝置用保鮮膜封住，進行相同實驗。實驗結果令人驚訝，鋅片上灰黑色物質的確減少了，而且電池電壓較高，呼應了我們的推論： $Zn(OH)_2$  會與空氣中的氧反應，生成 ZnO 附著在 Zn 極表面。

五、實驗目的五~探討不同磁場方向作用下，改良式 I 鋅銅電池內部溶液流動的現象

(一)結果:

1、觀察結果照片，如右圖 (圖 5-1)

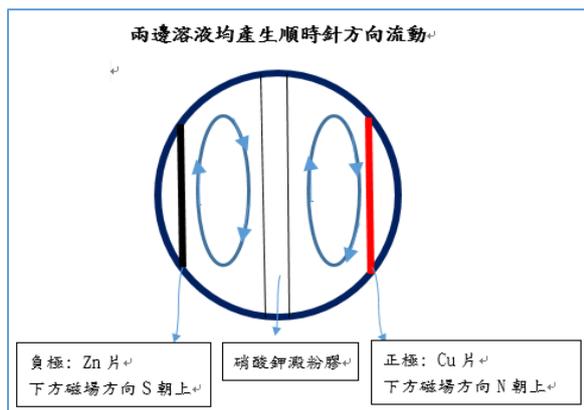
2、在不同磁場強度下，電池的最大電壓/最大電流

|       | (負極 S↑, 正極 N↑)  | (負極 N↑, 正極 S↑)  |
|-------|-----------------|-----------------|
| 無磁場   | 1.081V /24.1 mA |                 |
| 600G  | 1.085V /24.8 mA | 1.084V /25.1mA  |
| 1000G | 1.087V /29.7mA  | 1.085V /29.5mA  |
| 2000G | 1.060V /17.9 mA | 1.061V /18.4 mA |

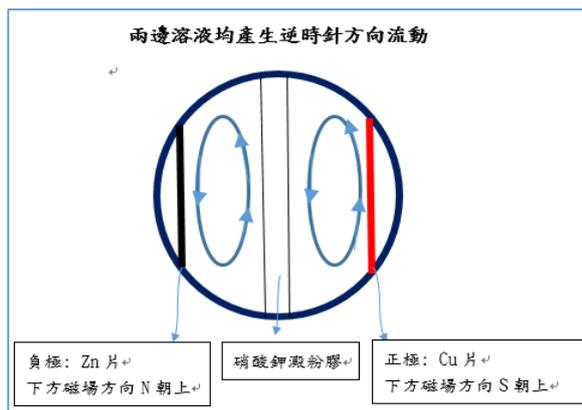
(圖 5-1)磁場方向(負極 S↑, 正極 N↑)1000G



3、示意圖如下：



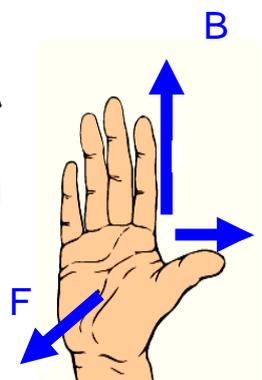
(圖 5-2)



(圖 5-3)

(二)討論

- 1、在改用培養皿時，減少了鹽橋的電阻，使電流增加，但因溶液深度淺、相對接觸氧氣的面積大，在鋅片放電時，易造成  $Zn^{2+}$  直接與氧氣反應，生成  $ZnO$  (黑色) 附著於鋅片上，而造成鋅片重量不減反增，此時電壓會明顯降低。表示此時電池負極反應物並非全為  $Zn$  原子。
- 2、但在控制變因: 外加磁場方向固定(負極  $S \uparrow$ ，正極  $N \uparrow$ ) 情況下，因溶液深度淺，便於磁場作用於溶液，此時觀察到離子移動時受磁力作用而造成溶液的流動情況，如照片圖所示。且在 1000G 時溶液流動最明顯，溶液表面因有白色懸浮微粒產生，直接利用此白色懸浮微粒用以觀測溶液的流動情形(或加入少許木屑更加便於觀察)。
- 3、在更大磁場下可能因太多鋅離子與氧氣反應附著於鋅片上形成黑色物質，不但電壓降低，電流也不高，溶液表面反而少有白色懸浮微粒流動。(硝酸鋅水合物)
- 4、鋅銅電池溶液中帶正電離子在磁場中的移動方向，可用開掌定則可解釋說明，(如圖 5) 若靠近銅片的磁場向上，銅離子向右移動。則受力向培養皿下方流動，而左側的溶液向上，則在培養皿中形成順時針流動的情況。
- 5、由此更可證明，外加磁場的確對電池的溶液有影響，加速了離子移動，以減少電極與溶液間的極化現象，增大離子的擴散與對流速率，可使電流變大。但磁場強度過強也會在負極造成副反應，使電壓降低。



六、目的六~探討不同磁場強度作用下，改良式II 鋅銅電池放電時的電壓、電流的影響

(一) 實驗結果: (1)正負極下方未加磁場，電壓、電流隨時間的變化 (表 6-1-1)

| 時間<br>t(min) | 電壓<br>(V) | 電流<br>(mA) | 累積釋放<br>的電能(J) | 時間<br>t(min) | 電壓<br>(V) | 電流<br>(mA) | 累積釋放<br>的電能(J) |
|--------------|-----------|------------|----------------|--------------|-----------|------------|----------------|
| 0            | 1.067     | 37.9       | 2.426          | 16           | 1.090     | 42.3       | 46.905         |
| 1            | 1.086     | 40.5       | 5.065          | 17           | 1.086     | 41.2       | 49.590         |
| 2            | 1.087     | 40.9       | 7.733          | 18           | 1.086     | 41.8       | 52.313         |
| 3            | 1.094     | 40.8       | 10.411         | 19           | 1.086     | 41.7       | 55.031         |
| 4            | 1.095     | 41.8       | 13.157         | 20           | 1.083     | 41.2       | 57.708         |
| 5            | 1.096     | 42.2       | 15.932         | 21           | 1.081     | 41.2       | 60.380         |
| 6            | 1.097     | 42.7       | 18.743         | 22           | 1.079     | 41.1       | 63.041         |
| 7            | 1.097     | 43.0       | 21.573         | 23           | 1.076     | 40.9       | 65.681         |
| 8            | 1.097     | 43.1       | 24.410         | 24           | 1.072     | 40.8       | 68.306         |
| 9            | 1.094     | 42.9       | 27.226         | 25           | 1.070     | 40.5       | 70.906         |
| 10           | 1.093     | 42.8       | 30.033         | 26           | 1.067     | 40.5       | 73.499         |
| 11           | 1.095     | 43.4       | 32.884         | 27           | 1.063     | 40.4       | 76.075         |
| 12           | 1.095     | 43.4       | 35.735         | 28           | 1.061     | 40.4       | 78.647         |
| 13           | 1.094     | 42.4       | 38.519         | 29           | 1.059     | 40.2       | 81.201         |
| 14           | 1.093     | 42.8       | 41.325         | 30           | 1.055     | 40.2       | 83.746         |
| 15           | 1.093     | 42.9       | 44.139         |              |           |            |                |

(表 6-1-2)

| 電極質量(g)                  | Zn 片(負極) | Cu 片(正極)               |
|--------------------------|----------|------------------------|
| 反應前質量                    | 4.465    | 11.400                 |
| 反應後質量                    | 4.435    | 11.450                 |
| 反應質量變化                   | -0.3g    | W <sub>i</sub> = +0.5g |
| 累積釋放的電能 E <sub>i</sub>   |          | 83.746                 |
| 產生 1g 的銅,同時釋放的電能(J/g)    |          | 167.492 (J/g)          |
| 實際產生釋放的電量 Q <sub>i</sub> |          | 1518.49(庫倫)            |
| 每分鐘釋放的電量(庫倫/分)           |          | 50.62 (庫倫/分)           |

實驗討論:

1、根據  $E=IVt$ ，可以算出累積釋放的電量  $E$ ，與銅片增加的重量( $W_i$ )相除，求得產生 1g 的銅，同時釋放的電能(J/g)。

2、再根據法拉第定律，由產物的生成量與反應期間電荷量成正比。我們由銅的重量增加的量( $W_i$ )可計算出，電池正極增加  $W_i$  的銅，同時實際產生釋放多少電量( $Q_i$ )

$$Q = It, \quad \frac{Q_1}{96500} = F \quad \text{-(式 1)}, \quad \frac{F}{n} \times M = W \quad \text{-(式 2)}$$

|               |
|---------------|
| N: 電子數(銅離子價數) |
| M: 銅原子量       |
| W: 銅的質量       |

將(式 2)中的  $F$  以(式 1)入可得， $\frac{Q_1}{96500} \times \frac{M}{n} = W$  (法拉第定律)， $\therefore Q_1 = \frac{W_1 \times n}{M} \times 96500$

2、一般而言，鋅銅電池負極多少都有些副反應發生，導致鋅片的重量變化不合法拉第程序，故不用鋅重量變化來評估。

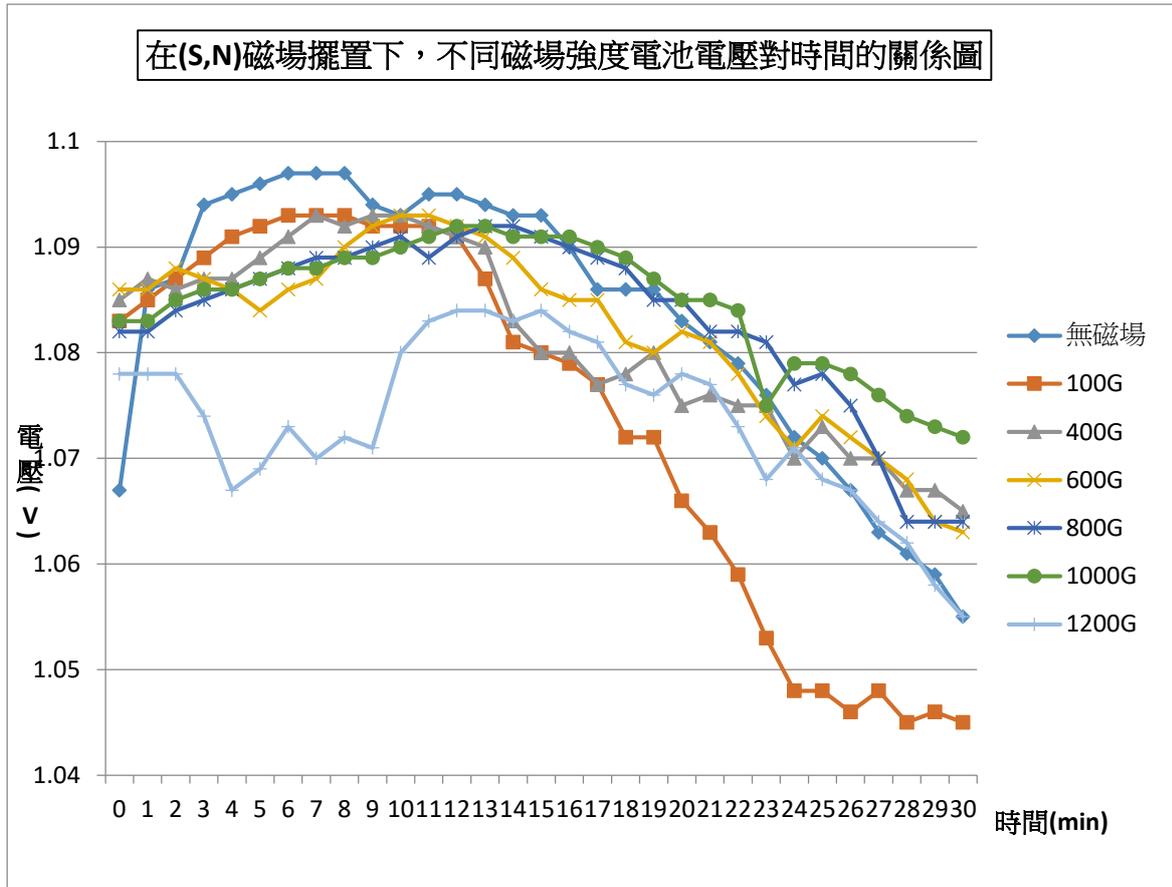
(2)負極下方S極向上，正極下方N磁向上，改良式II鋅銅電池電壓、電流隨時間的變化  
實驗結果：表(6-2-1) (t=0 為初始電壓)

| 磁場大小  | 100G  |        |            | 400G  |        |            | 600G  |        |            |
|-------|-------|--------|------------|-------|--------|------------|-------|--------|------------|
| 時間(分) | 電壓(V) | 電流(mA) | 累積釋放的電能(J) | 電壓(V) | 電流(mA) | 累積釋放的電能(J) | 電壓(V) | 電流(mA) | 累積釋放的電能(J) |
| 0     | 1.083 | 56     | 3.639      | 1.085 | 45     | 2.930      | 1.086 | 47.2   | 3.076      |
| 1     | 1.085 | 58.2   | 7.428      | 1.087 | 50     | 6.191      | 1.086 | 52.9   | 6.523      |
| 2     | 1.087 | 60.7   | 11.387     | 1.086 | 62.3   | 10.250     | 1.088 | 52.3   | 9.661      |
| 3     | 1.089 | 61.8   | 15.425     | 1.087 | 63.5   | 14.391     | 1.087 | 52.3   | 12.799     |
| 4     | 1.091 | 62.4   | 19.509     | 1.087 | 63.9   | 18.559     | 1.086 | 52.6   | 15.955     |
| 5     | 1.092 | 62.7   | 23.617     | 1.089 | 62     | 22.610     | 1.084 | 52.5   | 19.105     |
| 6     | 1.093 | 62.5   | 27.716     | 1.091 | 61.5   | 26.636     | 1.086 | 52.1   | 22.231     |
| 7     | 1.093 | 62.8   | 31.835     | 1.093 | 62     | 30.702     | 1.087 | 52.3   | 25.369     |
| 8     | 1.093 | 62.7   | 35.946     | 1.092 | 62.4   | 34.790     | 1.090 | 52.4   | 28.513     |
| 9     | 1.092 | 62.5   | 40.041     | 1.093 | 62.4   | 38.882     | 1.092 | 52.3   | 31.651     |
| 10    | 1.092 | 61.9   | 44.097     | 1.093 | 62     | 42.948     | 1.093 | 51.8   | 34.759     |
| 11    | 1.092 | 61.7   | 48.140     | 1.092 | 61     | 46.945     | 1.093 | 51.4   | 37.843     |
| 12    | 1.091 | 60.2   | 52.080     | 1.091 | 59.2   | 50.820     | 1.092 | 51.2   | 40.915     |
| 13    | 1.087 | 58.4   | 55.889     | 1.090 | 59     | 54.679     | 1.091 | 50.8   | 43.963     |
| 14    | 1.081 | 59.9   | 59.774     | 1.083 | 55.4   | 58.279     | 1.089 | 50.3   | 46.981     |
| 15    | 1.080 | 58.8   | 63.585     | 1.080 | 56     | 61.908     | 1.086 | 49.3   | 49.939     |
| 16    | 1.079 | 57.9   | 67.333     | 1.080 | 56.3   | 65.556     | 1.085 | 49.5   | 52.909     |
| 17    | 1.077 | 56.9   | 71.010     | 1.077 | 56.4   | 69.200     | 1.085 | 48.5   | 55.819     |
| 18    | 1.072 | 57     | 74.676     | 1.078 | 55     | 72.758     | 1.081 | 50.8   | 58.867     |
| 19    | 1.072 | 56.8   | 78.330     | 1.080 | 53.6   | 76.231     | 1.080 | 50.6   | 61.903     |
| 20    | 1.066 | 57.8   | 82.026     | 1.075 | 52.4   | 79.611     | 1.082 | 51.4   | 64.987     |
| 21    | 1.063 | 57.2   | 85.675     | 1.076 | 52.7   | 83.013     | 1.081 | 53.2   | 68.179     |
| 22    | 1.059 | 57.    | 89.296     | 1.075 | 52.4   | 86.393     | 1.078 | 52.4   | 71.323     |
| 23    | 1.053 | 55.6   | 92.809     | 1.075 | 52.8   | 89.799     | 1.074 | 51.3.  | 74.401     |
| 24    | 1.048 | 56.2   | 96.343     | 1.070 | 53.4   | 93.227     | 1.071 | 50.7   | 77.443     |
| 25    | 1.048 | 56.    | 99.864     | 1.073 | 53.6   | 96.678     | 1.074 | 50.8   | 80.491     |
| 26    | 1.046 | 55.5   | 103.348    | 1.070 | 53.9   | 100.138    | 1.072 | 48.7   | 83.413     |
| 27    | 1.048 | 55.3   | 106.825    | 1.070 | 53.4   | 103.566    | 1.070 | 50.    | 86.413     |
| 28    | 1.045 | 53.8   | 110.198    | 1.067 | 53.5   | 106.991    | 1.068 | 50.    | 89.413     |
| 29    | 1.046 | 56.1   | 113.719    | 1.067 | 54.2   | 110.461    | 1.064 | 50     | 92.413     |
| 30    | 1.045 | 56.1   | 117.236    | 1.065 | 54.3   | 113.931    | 1.063 | 50     | 95.413     |

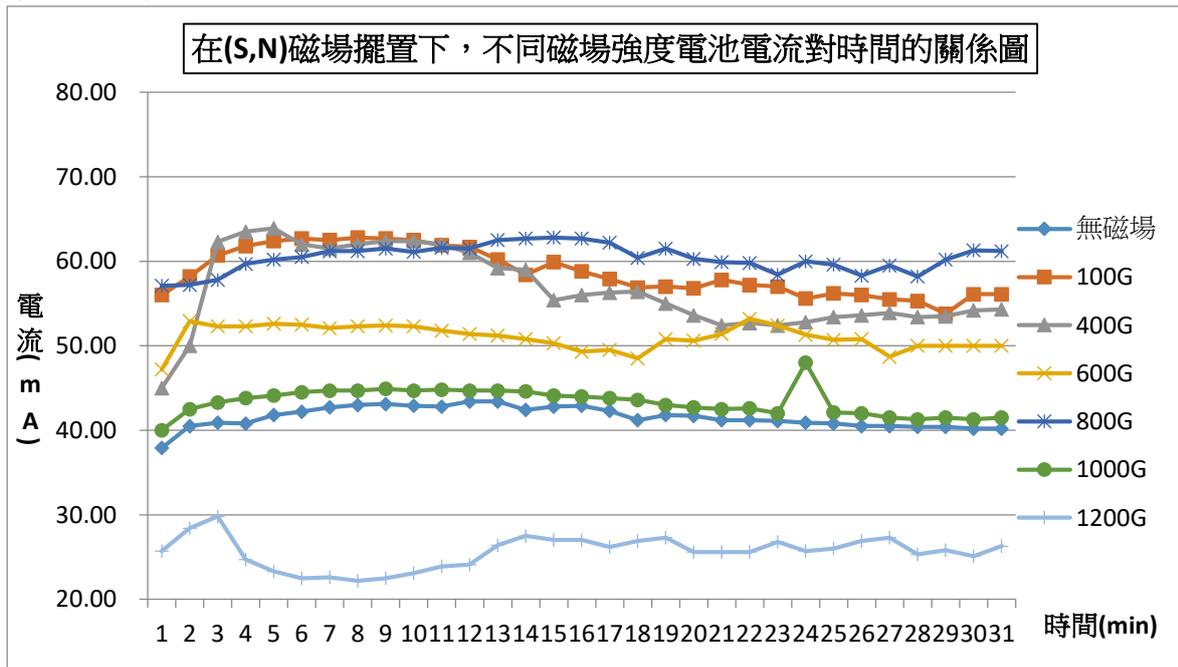
表(6-2-2) (t=0 為初始電壓 )

| 磁場大小 | 800G   |         |            | 1000G  |         |            | 1200G  |         |            |
|------|--------|---------|------------|--------|---------|------------|--------|---------|------------|
|      | 電壓 (V) | 電流 (mA) | 累積釋放的電能(J) | 電壓 (V) | 電流 (mA) | 累積釋放的電能(J) | 電壓 (V) | 電流 (mA) | 累積釋放的電能(J) |
| 0    | 1.082  | 57.1    | 3.707      | 1.083  | 40      | 2.599      | 1.078  | 25.7    | 1.662      |
| 1    | 1.082  | 57.2    | 7.420      | 1.083  | 42.5    | 5.361      | 1.078  | 28.4    | 3.499      |
| 2    | 1.084  | 57.8    | 11.180     | 1.085  | 43.3    | 8.180      | 1.078  | 29.8    | 5.427      |
| 3    | 1.085  | 59.7    | 15.066     | 1.086  | 43.8    | 11.034     | 1.074  | 24.7    | 7.018      |
| 4    | 1.086  | 60.2    | 18.989     | 1.086  | 44.1    | 13.907     | 1.067  | 23.3    | 8.510      |
| 5    | 1.087  | 60.5    | 22.935     | 1.087  | 44.5    | 16.810     | 1.069  | 22.5    | 9.953      |
| 6    | 1.088  | 61.2    | 26.930     | 1.088  | 44.7    | 19.728     | 1.073  | 22.6    | 11.408     |
| 7    | 1.089  | 61.2    | 30.929     | 1.088  | 44.7    | 22.646     | 1.070  | 22.2    | 12.833     |
| 8    | 1.089  | 61.5    | 34.947     | 1.089  | 44.9    | 25.579     | 1.072  | 22.5    | 14.281     |
| 9    | 1.090  | 61.1    | 38.943     | 1.089  | 44.7    | 28.500     | 1.071  | 23.1    | 15.765     |
| 10   | 1.091  | 61.6    | 42.975     | 1.090  | 44.8    | 31.430     | 1.080  | 23.9    | 17.314     |
| 11   | 1.089  | 61.5    | 46.994     | 1.091  | 44.7    | 34.356     | 1.083  | 24.1    | 18.880     |
| 12   | 1.091  | 62.5    | 51.085     | 1.092  | 44.7    | 37.285     | 1.084  | 26.4    | 20.597     |
| 13   | 1.092  | 62.7    | 55.193     | 1.092  | 44.6    | 40.207     | 1.084  | 27.5    | 22.385     |
| 14   | 1.092  | 62.8    | 59.308     | 1.091  | 44.1    | 43.094     | 1.083  | 27.0    | 24.140     |
| 15   | 1.091  | 62.7    | 63.412     | 1.091  | 44      | 45.974     | 1.084  | 27.0    | 25.896     |
| 16   | 1.090  | 62.2    | 67.480     | 1.091  | 43.8    | 48.841     | 1.082  | 26.2    | 27.597     |
| 17   | 1.089  | 60.4    | 71.426     | 1.090  | 43.6    | 51.693     | 1.081  | 26.9    | 29.342     |
| 18   | 1.088  | 61.5    | 75.441     | 1.089  | 43      | 54.502     | 1.077  | 27.3    | 31.106     |
| 19   | 1.085  | 60.3    | 79.367     | 1.087  | 42.7    | 57.287     | 1.076  | 25.6    | 32.758     |
| 20   | 1.085  | 59.9    | 83.266     | 1.085  | 42.5    | 60.054     | 1.078  | 25.6    | 34.414     |
| 21   | 1.082  | 59.8    | 87.148     | 1.085  | 42.6    | 62.827     | 1.077  | 25.6    | 36.068     |
| 22   | 1.082  | 58.4    | 90.940     | 1.084  | 42      | 65.559     | 1.073  | 26.8    | 37.794     |
| 23   | 1.081  | 60      | 94.831     | 1.075  | 48      | 68.655     | 1.068  | 25.7    | 39.441     |
| 24   | 1.077  | 59.6    | 98.683     | 1.079  | 42.1    | 71.380     | 1.071  | 26.0    | 41.111     |
| 25   | 1.078  | 58.3    | 102.453    | 1.079  | 42      | 74.099     | 1.068  | 26.9    | 42.835     |
| 26   | 1.075  | 59.5    | 106.291    | 1.078  | 41.5    | 76.784     | 1.067  | 27.3    | 44.583     |
| 27   | 1.070  | 58.2    | 110.028    | 1.076  | 41.3    | 79.450     | 1.064  | 25.3    | 46.198     |
| 28   | 1.064  | 60.2    | 113.871    | 1.074  | 41.5    | 82.124     | 1.062  | 25.8    | 47.842     |
| 29   | 1.064  | 61.3    | 117.784    | 1.075  | 41.3    | 84.788     | 1.058  | 25.1    | 49.435     |
| 30   | 1.064  | 61.2    | 121.691    | 1.073  | 41      | 87.428     | 1.055  | 26.3    | 51.100     |

(圖 6-2-1)



(圖 6-2-2)



(表 6-2-3)

| 磁場大小                     | 100G  |         | 400G   |         | 600G  |         | 800G   |        | 1000G  |        | 1200G  |        |
|--------------------------|-------|---------|--------|---------|-------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 電極                       | Zn    | Cu      | Zn     | Cu      | Zn    | Cu      | Zn     | Cu     | Zn     | Cu     | Zn     | Cu     |
| 反應前質量(g)                 | 4.430 | 11.280  | 4.375  | 11.305  | 4.46  | 11.30   | 4.675  | 11.275 | 4.625  | 11.335 | 4.605  | 11.050 |
| 反應後質量(g)                 | 4.4   | 11.290  | 4.350  | 11.375  | 4.45  | 11.35   | 4.550  | 11.425 | 4.600  | 11.445 | 4.455  | 11.265 |
| 質量變化量(g)                 | -0.03 | 0.1     | -0.025 | 0.07    | -0.01 | 0.05    | -0.125 | 0.15   | -0.025 | 0.11   | -0.150 | 0.215  |
| 累積釋放的電能 E1(J)            |       | 117.236 |        | 113.93  |       | 95.413  |        | 121.69 |        | 87.43  |        | 51.10  |
| 產生 1g 的銅同時釋放的電能(J/g)     |       | 1172.36 |        | 1627.57 |       | 1908.26 |        | 811.27 |        | 794.8  |        | 237.67 |
| 實際產生釋放的電荷 Q <sub>i</sub> |       | 303.7   |        | 212.59  |       | 151.85  |        | 455.55 |        | 334.07 |        | 652.95 |
| 每分鐘釋放的電量(庫倫/分)           |       | 10.12   |        | 7.09    |       | 5.06    |        | 15.185 |        | 11.14  |        | 21.77  |

### 實驗討論：

在磁場方向：(負 S, 正 N)時，

- 1、改良式鋅銅電池在外加磁場的作用下，方向”負極下方磁鐵 S 極向上，正極下方磁鐵 N 磁向上”即(S, N)，我們看到在電壓的部分，不同的磁場強度對電壓影響不大，都能保持不錯的狀況，和無磁場的狀況類似。只有在 100G 時，電壓在 15 分鐘後衰減得很快。而在 1200G 時，前 10 分鐘電壓起伏很大。
- 2、外加磁場對改良式鋅銅電池而言，電流部分被影響很大，和無外加磁場的電流狀況比較，大多明顯增加，因為在磁場作用下，可以帶動溶液的流動，使擴散效果加快，所以電流都明顯增加。效果最好的是在 800G 和 100G，但是 100G 的電壓不穩定，會衰退下降。另外磁場太強可能造成活化  $Zn^{2+}$  與氧氣在鋅電極片與溶液交接處，產生副反應，所以電流不大，如 1200G 時。
- 3、由表(6-2-1)、(6-2-2)中，利用  $E=Ivt$ ，和累加的方式，求出在 30 分鐘內電池「累積釋放的電能(J)」，再除以銅極增加的質量，可得到「產生 1g 的銅同時釋放的電能(J/g)」(表 6-2-3)，用以評估電池的效能。未加磁場時，產生 1g 的銅同時釋放的電能=167.92(J/g)，而加了磁場，同樣在銅極上有 1g 的銅析出，卻可放出大量的電能，效能是：600G >400G >100G>800G>1000G>1200G >未加磁場

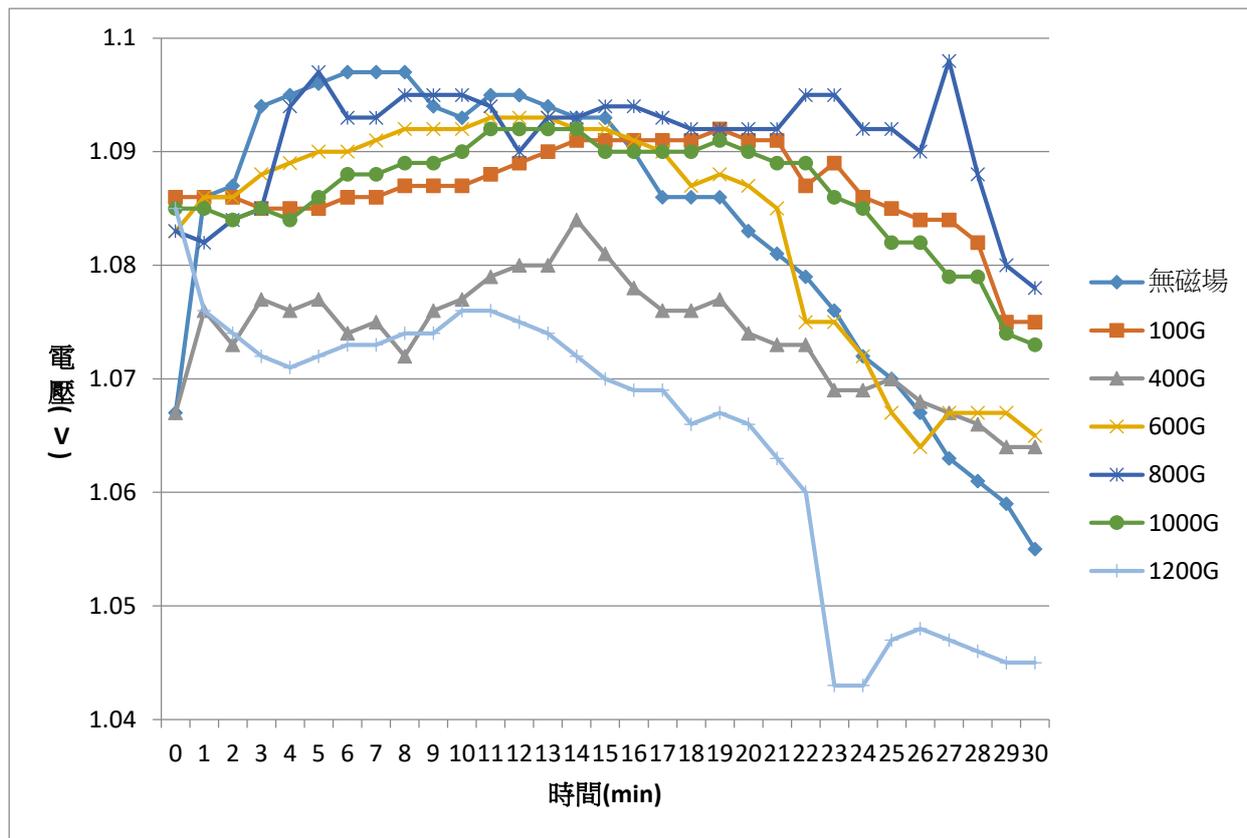
(3)負極下方 N 極向上，正極下方磁極 S 向上，改良式 II 鋅銅電池電壓、電流隨時間的變化  
 實驗結果：（表 6-3-1）（t=0 為初始電壓）

| 磁場<br>強度 | 100G         |           |            | 400G          |           |            | 600G          |           |            |
|----------|--------------|-----------|------------|---------------|-----------|------------|---------------|-----------|------------|
|          | 時間<br>t(min) | 電壓<br>(V) | 電流<br>(mA) | 累積釋放的<br>電能 E | 電壓<br>(V) | 電流<br>(mA) | 累積釋放的<br>電能 E | 電壓<br>(V) | 電流<br>(mA) |
| 0        | 1.086        | 45.2      | 2.945      | 1.067         | 37.5      | 2.401      | 1.083         | 46.9      | 3.048      |
| 1        | 1.086        | 43.5      | 5.780      | 1.076         | 40.2      | 4.996      | 1.086         | 49.1      | 6.25       |
| 2        | 1.086        | 43.9      | 8.640      | 1.073         | 41.3      | 7.655      | 1.086         | 49.7      | 9.49       |
| 3        | 1.085        | 43.9      | 11.498     | 1.077         | 41.3      | 10.324     | 1.088         | 50.1      | 12.76      |
| 4        | 1.085        | 44.2      | 14.376     | 1.076         | 42        | 13.035     | 1.089         | 50.4      | 16.05      |
| 5        | 1.085        | 46        | 17.370     | 1.077         | 40.8      | 15.672     | 1.090         | 50.1      | 19.33      |
| 6        | 1.086        | 46.3      | 20.387     | 1.074         | 41.2      | 18.327     | 1.090         | 50.2      | 22.61      |
| 7        | 1.086        | 46        | 23.384     | 1.075         | 41.3      | 20.991     | 1.091         | 50.3      | 25.90      |
| 8        | 1.087        | 46.3      | 26.404     | 1.072         | 42        | 23.692     | 1.092         | 50.4      | 29.20      |
| 9        | 1.087        | 45.8      | 29.391     | 1.076         | 41.2      | 26.352     | 1.092         | 50.3      | 32.50      |
| 10       | 1.087        | 46.3      | 32.411     | 1.077         | 43.2      | 29.143     | 1.092         | 51.2      | 35.85      |
| 11       | 1.088        | 46.5      | 35.446     | 1.079         | 44.1      | 31.998     | 1.093         | 52.9      | 39.32      |
| 12       | 1.089        | 46.4      | 38.478     | 1.080         | 46        | 34.979     | 1.093         | 52.9      | 42.79      |
| 13       | 1.090        | 45.4      | 41.447     | 1.080         | 46.4      | 37.986     | 1.093         | 52.1      | 46.21      |
| 14       | 1.091        | 46.6      | 44.498     | 1.084         | 46.3      | 40.997     | 1.092         | 52.6      | 49.66      |
| 15       | 1.091        | 46.8      | 47.561     | 1.081         | 46.9      | 44.039     | 1.092         | 52.1      | 53.07      |
| 16       | 1.091        | 46.3      | 50.592     | 1.078         | 45        | 46.950     | 1.091         | 52.2      | 56.49      |
| 17       | 1.091        | 46.5      | 53.636     | 1.076         | 46.4      | 49.945     | 1.090         | 51.5      | 59.85      |
| 18       | 1.091        | 46.6      | 56.686     | 1.076         | 45.5      | 52.883     | 1.087         | 51.1      | 63.19      |
| 19       | 1.092        | 45.4      | 59.661     | 1.077         | 46.1      | 55.862     | 1.088         | 51.6      | 66.56      |
| 20       | 1.091        | 46        | 62.672     | 1.074         | 45.5      | 58.794     | 1.087         | 51.2      | 69.89      |
| 21       | 1.091        | 46        | 65.683     | 1.073         | 45.1      | 61.697     | 1.085         | 48.7      | 73.06      |
| 22       | 1.087        | 46.4      | 68.710     | 1.073         | 44.9      | 64.588     | 1.075         | 47.7      | 76.14      |
| 23       | 1.089        | 46.1      | 71.722     | 1.069         | 43.2      | 67.359     | 1.075         | 43.1      | 78.92      |
| 24       | 1.086        | 45.3      | 74.673     | 1.069         | 44        | 70.181     | 1.072         | 40.1      | 81.50      |
| 25       | 1.085        | 45.8      | 77.655     | 1.070         | 43.7      | 72.987     | 1.067         | 40        | 84.06      |
| 26       | 1.084        | 45.2      | 80.595     | 1.068         | 43.7      | 75.787     | 1.064         | 39.6      | 86.59      |
| 27       | 1.084        | 45.2      | 83.535     | 1.067         | 43.8      | 78.591     | 1.067         | 38.9      | 89.08      |
| 28       | 1.082        | 43        | 86.326     | 1.066         | 43.9      | 81.399     | 1.067         | 38.6      | 91.55      |
| 29       | 1.075        | 44.5      | 89.196     | 1.064         | 43.7      | 84.189     | 1.067         | 38.6      | 94.02      |
| 30       | 1.075        | 44.5      | 92.067     | 1.064         | 44.9      | 87.055     | 1.065         | 38.4      | 96.48      |

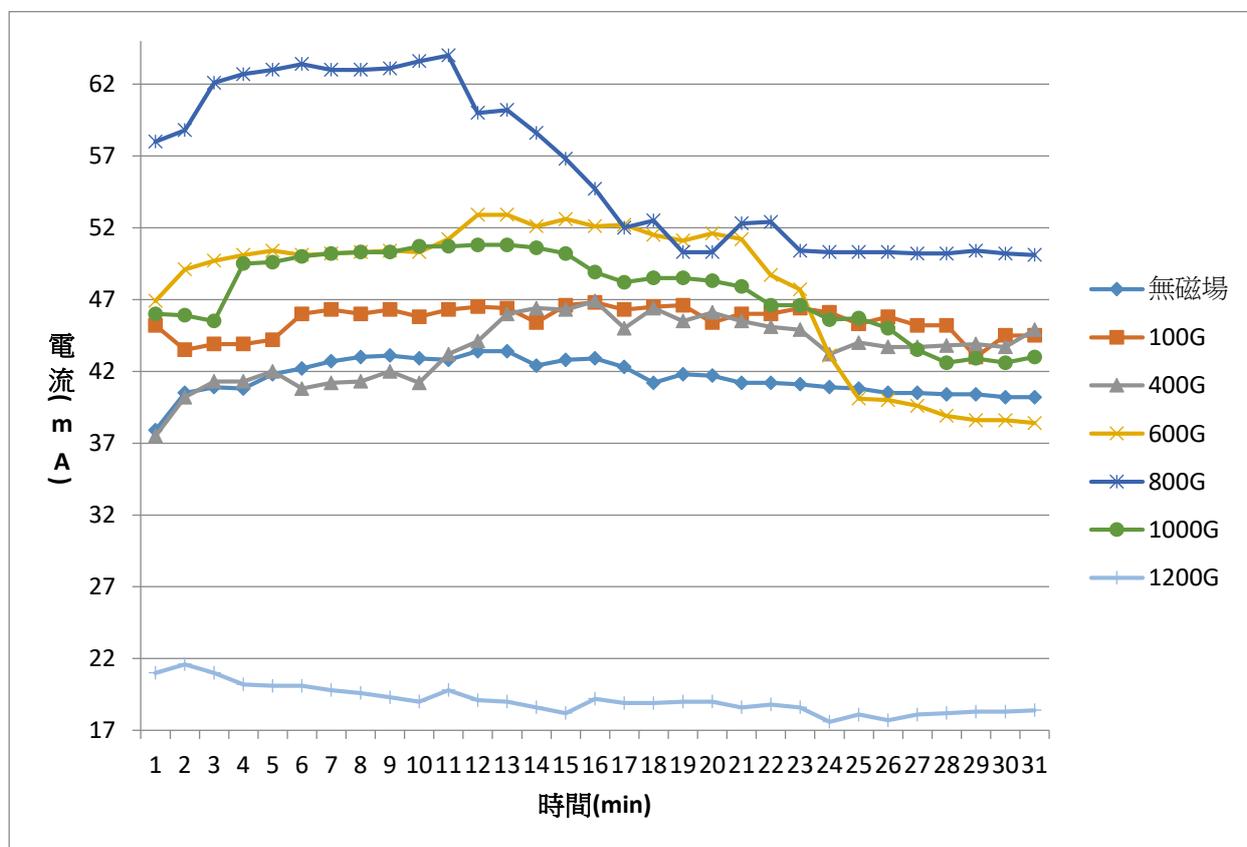
(表 6-3-2) 負極下方磁鐵 N 極向上, 正極下方磁鐵 S 極向上(t=0 為初始電壓 )

| 磁場<br>強度 | 800G         |           |            | 1000G         |           |            | 1200G         |           |            |
|----------|--------------|-----------|------------|---------------|-----------|------------|---------------|-----------|------------|
|          | 時間<br>t(min) | 電壓<br>(V) | 電流<br>(mA) | 累積釋放<br>的電能 E | 電壓<br>(V) | 電流<br>(mA) | 累積釋放<br>的電能 E | 電壓<br>(V) | 電流<br>(mA) |
| 0        | 1.083        | 58        | 3.769      | 1.085         | 46        | 2.995      | 1.085         | 21        | 1.367      |
| 1        | 1.082        | 58.8      | 7.59       | 1.085         | 45.9      | 5.98       | 1.076         | 21.6      | 2.76       |
| 2        | 1.084        | 62.1      | 11.63      | 1.084         | 45.5      | 8.94       | 1.074         | 21        | 4.11       |
| 3        | 1.085        | 62.7      | 15.71      | 1.085         | 49.5      | 12.16      | 1.072         | 20.2      | 5.41       |
| 4        | 1.094        | 63        | 19.84      | 1.084         | 49.6      | 15.39      | 1.071         | 20.1      | 6.71       |
| 5        | 1.097        | 63.4      | 24.02      | 1.086         | 50        | 18.65      | 1.072         | 20.1      | 8.00       |
| 6        | 1.093        | 63        | 28.15      | 1.088         | 50.2      | 21.93      | 1.073         | 19.8      | 9.27       |
| 7        | 1.093        | 63        | 32.28      | 1.088         | 50.3      | 25.21      | 1.073         | 19.6      | 10.54      |
| 8        | 1.095        | 63.1      | 36.42      | 1.089         | 50.3      | 28.50      | 1.074         | 19.3      | 11.78      |
| 9        | 1.095        | 63.6      | 40.60      | 1.089         | 50.7      | 31.81      | 1.074         | 19        | 13.00      |
| 10       | 1.095        | 64        | 44.81      | 1.090         | 50.7      | 35.12      | 1.076         | 19.8      | 14.28      |
| 11       | 1.094        | 60        | 48.75      | 1.092         | 50.8      | 38.45      | 1.076         | 19.1      | 15.51      |
| 12       | 1.090        | 60.2      | 52.68      | 1.092         | 50.8      | 41.78      | 1.075         | 19        | 16.74      |
| 13       | 1.093        | 58.6      | 56.53      | 1.092         | 50.6      | 45.10      | 1.074         | 18.6      | 17.94      |
| 14       | 1.093        | 56.8      | 60.25      | 1.092         | 50.2      | 48.39      | 1.072         | 18.2      | 19.11      |
| 15       | 1.094        | 54.7      | 63.84      | 1.090         | 48.9      | 51.58      | 1.070         | 19.2      | 20.34      |
| 16       | 1.094        | 52        | 67.25      | 1.09          | 48.2      | 54.74      | 1.069         | 18.9      | 21.55      |
| 17       | 1.093        | 52.5      | 70.70      | 1.09          | 48.5      | 57.91      | 1.069         | 18.9      | 22.77      |
| 18       | 1.092        | 50.3      | 73.99      | 1.09          | 48.5      | 61.08      | 1.066         | 19        | 23.98      |
| 19       | 1.092        | 50.3      | 77.29      | 1.091         | 48.3      | 64.24      | 1.067         | 19        | 25.20      |
| 20       | 1.092        | 52.3      | 80.72      | 1.090         | 47.9      | 67.37      | 1.066         | 18.6      | 26.39      |
| 21       | 1.092        | 52.4      | 84.15      | 1.089         | 46.6      | 70.42      | 1.063         | 18.8      | 27.59      |
| 22       | 1.095        | 50.4      | 87.46      | 1.089         | 46.6      | 73.46      | 1.060         | 18.6      | 28.77      |
| 23       | 1.095        | 50.3      | 90.76      | 1.086         | 45.6      | 76.43      | 1.043         | 17.6      | 29.87      |
| 24       | 1.092        | 50.3      | 94.06      | 1.085         | 45.7      | 79.41      | 1.043         | 18.1      | 31.00      |
| 25       | 1.092        | 50.3      | 97.36      | 1.082         | 45        | 82.33      | 1.047         | 17.7      | 32.12      |
| 26       | 1.090        | 50.2      | 100.64     | 1.082         | 43.5      | 85.16      | 1.048         | 18.1      | 33.25      |
| 27       | 1.098        | 50.2      | 103.95     | 1.079         | 42.6      | 87.91      | 1.047         | 18.2      | 34.40      |
| 28       | 1.088        | 50.4      | 107.24     | 1.079         | 42.9      | 90.69      | 1.046         | 18.3      | 35.55      |
| 29       | 1.080        | 50.2      | 110.49     | 1.074         | 42.6      | 93.44      | 1.045         | 18.3      | 36.69      |
| 30       | 1.078        | 50.1      | 113.73     | 1.073         | 43        | 96.20      | 1.045         | 18.4      | 37.85      |

(圖 6-3-1) 負極下方磁場 N 極向上，正極下方磁場 S 極向上



(圖 6-3-2)



(表 6-3-3)

| 磁場大小                  | 100G  |               | 400G   |               | 600G  |              | 800G   |               | 1000G |              | 1200G  |              |
|-----------------------|-------|---------------|--------|---------------|-------|--------------|--------|---------------|-------|--------------|--------|--------------|
|                       | Zn    | Cu            | Zn     | Cu            | Zn    | Cu           | Zn     | Cu            | Zn    | Cu           | Zn     | Cu           |
| 反應前質量(g)              | 4.780 | 11.260        | 4.445  | 11.475        | 4.695 | 11.275       | 4.695  | 11.220        | 4.725 | 11.315       | 4.605  | 11.085       |
| 反應後質量(g)              | 4.770 | 11.375        | 4.430  | 11.525        | 4.645 | 11.35        | 4.610  | 11.275        | 4.645 | 11.380       | 4.59   | 11.125       |
| 質量變化量                 | -0.1  | 0.115         | -0.015 | +0.05         | -0.05 | +0.075       | -0.085 | 0.055         | -0.08 | 0.065        | -0.005 | 0.04         |
| 累積釋放的電能 $E_t$         |       | <b>92.067</b> |        | <b>87.055</b> |       | <b>96.48</b> |        | <b>113.73</b> |       | <b>96.20</b> |        | <b>37.85</b> |
| 產生 1g 的銅同時釋放的電能 (J/g) |       | 800.85        |        | 1741.1        |       | 1286.4       |        | 2067.64       |       | 1480         |        | 946.25       |
| 實際產生釋放的電荷 $Q_t$       |       | 455.55        |        | 151.89        |       | 227.77       |        | 167.03        |       | 197.4        |        | 121.48       |
| 每分鐘釋放的電量(庫倫/分)        |       | 15.185        |        | 5.06          |       | 7.59         |        | 5.57          |       | 6.58         |        | 4.05         |

### 實驗討論

\*在磁場方向：(負 N, 正 S)時，

- 1、電壓部分，100G 時能維持好的電壓而沒有快速衰減，400G、600G 時，電壓會微幅增加之後又微幅下降，效果最好是 800G，其次是 1000G，1200G 時電壓會快速衰減。
- 2、電流部分，只有 600G、800G、1000G，電流明顯高於未加磁場時的電流。整體而言效果最好在 800G。
- 3、一樣由表(6-3-1)、(6-3-2)中，可求得求出在 30 分鐘內電池「累積釋放的電能(J)」，再除以銅極增加的質量，可得到「產生 1g 的銅同時釋放的電能(J/g)」(表 6-3-3)，評估電池效能，未加磁場時，產生 1g 的銅同時釋放的電能=167.92(J/g)，而加了磁場，同樣在銅極上有 1g 的銅析出，卻可放出大量的電能，效能是：800G >400G >1000G >600G >1200G >100G >未加磁場

總的來說，負極有 N 磁極，正極有 S 磁極，所需磁極較強的強度，能有較高電壓、電流而負極有 S 磁極，正極有 N 磁極，相較情況則容易達到提升電流的目的。

## 陸、結論與展望

- 1、相關資料當硫酸鋅濃度 1M、硫酸銅濃度 1M、硝酸鉀濃度 1M 時，電壓有 1.065 Volt 電流為 1.38mA，但量到的常常更低。本實驗中改變硫酸銅與硫酸鋅溶液濃度比例，讓硫酸鋅濃度降低到 0.2M 時，會因為濃度差而使反應更容易往正方向進行，使電池電壓變大。
- 2、本實驗，外加磁場對鹽橋式鋅銅電池確實有增大電壓、電流，穩定電壓電流的功效。所量得的電位還會高達 1.108V。是因為，外加磁場造成正離子的受力而開始流動，加速溶液中離子的擴散速率，而使導電能力增加，電流增加。

3、受外加磁場影響，由開掌定則可得知鋅銅電池溶液中，正離子移動的方向。實驗中從發現懸浮顆粒在移動，而欲將此現象改在培養皿中觀察，卻發現流動情況隨著電極下方磁極不同，而有順時針、逆時針兩種流動。在本實驗中，磁場強度 1000G 時流動最顯。

4、外加磁場方向不同，影響正、負極的效果也不一樣，在我們的實驗中，發現針對鋅銅電池的兩極，磁場方向的影響如下：

(1)當 Zn 極下方有外加磁場時，易在鹽橋中左側處，產生白色膠態顆粒，並有上下循環流動現象。表示  $Zn^{2+}$  受到磁化後，反應性會改變。以至於產生白色膠態懸浮微粒的流動。

(2)單獨只有 Cu 極下方有外加磁場時，整體電壓、電流效果很好。表示  $Cu^{2+}$  受到磁化有助於增大電流。

(3)當正負極下方均同時放置磁鐵，若同極向上，則因磁力相斥，磁力線向外分佈，造成電極附近的磁場效果變弱，電壓、電流整體增加效果就不會是最好的。

(4)外加磁場整體效果評估(含電壓、電流、電流穩定性)：

(X, N↑)、(X, S↑)、(S↑, N↑)、(N↑, S↑)、(S 在中間)較好

這是件有趣的事，感覺還有很多秘密待我們發覺。

5、本實驗中，解決了困擾我們在做鋅銅電池實驗的問題~鹽橋中的白色顆粒是甚麼？

從大膽假設，到簡易化學法辨定，讓我們可用肉眼觀察到溶液中，有白色圓形的懸浮微粒，此微粒中間透明無色，外圍有白色物質包圍，就像包心粉圓一樣可愛！它是白色圓形懸浮微粒  $Zn(OH)_2$ ， $Zn(OH)_2$  為生成 ZnO 的中間物，因此我們大膽推測：由於本實驗並無在密閉空間下進行，因此  $Zn(OH)_2$  可能會與空氣中的氧氣反應生成 ZnO。當 ZnO 不規則的附在鋅片上，因光線反射的關係，我們肉眼觀察到的不是 Zn 極光滑的銀灰色表面，而是灰黑色的表面。

6、在磁場方向固定，強度與電壓、電流的關係上，我們得到以下結論：

(1) 在磁場方向為(負 S, 正 N)時，

--效果最好的是在 800G。另外磁場太強可能造成活化  $Zn^{2+}$  與氧氣在鋅電極片與溶液交接處，產生副反應，所以電流不大，如 1200G 時--利用  $E=Ivt$ ，和累加的方式，求出在 30 分鐘內電池「累積釋放的電能(J)」，再除以銅極增加的質量，可得到「產生 1g 的銅同時釋放的電能(J/g)」，用以評估電池的效能。

a. 未加磁場時，產生 1g 的銅同時釋放的電能=167.92(J/g)，

b. 而加了磁場，同樣在銅極上有 1g 的銅析出，卻可放出大量的電能，

c. 效能是:600G >400G >100G >800G >1000G >1200G >未加磁場

--磁場不用太強，就可達到提升電流的目的。

(2) 在磁場方向為(負 N, 正 S)時

--效果最好是 800G，其次是 1000G，

--「產生 1g 的銅同時釋放的電能(J/g)」，

--效能是:800G >400G >1000G >600G >1200G >100G >未加磁場

--需磁極較強的強度，能有較高的電流。

## 柒、參考資料

- 1、中華民國第 55 屆中小學科學展覽會 作品國中組化學科第三名  
「先磁得電•氫而易得 - 磁場對電解水產氫效率之研究」
- 2、2007 國際科展國中佳作~磁場中的離子轉速 探討離子遷移速度變因
- 3、97 年全國科展國中佳作~電解質溶液的異想世界~探討離子與磁場的交互作用與應用
- 4、電化學原理與方法 胡啟章著
- 5、104 年第 55 屆高中化學~膜擬行凍創鋅-自製半透膜代蒜鹽橋之果凍化新型鋅銅電池
- 6、91 年全國科展國中化學~鋅銅電池之改進實驗
- 7、高雄大學-不同磁場條件下成長參鋁氧化鋅導電膜
- 8、師大附中-化學電池之鹽橋在不同濃度下對於電流影響之探討.